

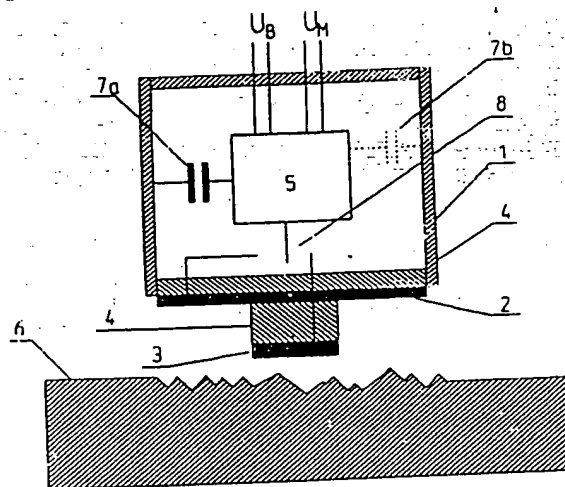
★ KLOE/ S02 92-184342/23 ★ DD 297509-A5  
Capacitive sensor for non contact surface roughness measurement -  
measures difference between capacitance and theoretical value  
related to mean surface level to produce value proportional to  
roughness

KLOEDEN R 90.03.13 90DD-338643  
(92.01.09) G01D 5/24, G01B 7/22

A measuring electrode (3) is positioned close to a surface using a  
positioning electrode (2) and forms a measuring capacitor with this  
surface. The capacitance is measured using an electronic circuit and  
a reference capacitor (7a). The difference between this capacitance  
and the theoretical capacitance w.r.t. the mean surface level is  
proportional to the surface roughness.

ADVANTAGE - Can also determine long-wave components of  
roughness. (7pp Dwg.No.1/3)  
N92-139104

S02-A02X S02-K03A1C



US1 AVAILABLE COPY



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 297 509 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1  
Patentgesetz der DDR  
vom 27.10.1983  
in Übereinstimmung mit den entsprechenden  
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 D 5/24  
G 01 B 7/22

## DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD G 01 D / 338 643 4	(22)	13.03.90	(44)	09.01.92
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71) siehe (72)  
(72) Klöden, Rolf, Dipl.-Ing., Johannes-Diek-Straße 18, O - 9050 Chemnitz, DE  
(73) siehe (72)

(54) Kapazitiver Sensor zur berührungslosen Rauheitsmessung

(55) Rauheitsmeßgerät; Geber, kapazitiver; Rauheitssensor, kapazitiver; Rauheitsmessung, kapazitiver; Meßgrößenerfassung, geometrische

(57) Der kapazitive Sensor zur berührungslosen Rauheitsmessung findet Anwendung zur flächenhaften Erfassung von Kenngrößen der Oberflächenrauheit und langwelligen Anteile der Oberflächenform ohne mechanische Kräfteinwirkung auf den Prüfling im Maschinenbau, Fahrzeug- und Gerätebau und dgl. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß eine Meßelektrode mit Hilfe einer in definiertem Abstand dahinter liegenden Positionselektrode auf einen dem Sensor entsprechenden geringen Abstand zur mittleren Fläche des Oberflächenprofils positioniert wird. Mittels einer Sensorelektronik und einem Referenzkondensator wird die Kapazität des Meßkondensators ermittelt, die zur theoretischen Kapazität bezogen auf die mittlere Fläche eine Differenz aufweist. Diese Differenz ist eine die Oberflächenrauheit repräsentierende Größe. Durch entsprechende Gestaltung der Elektroden können sowohl die Rauheit als auch langwellige Anteile der Oberflächenrauheit flächenhaft ermittelt werden. Fig. 1

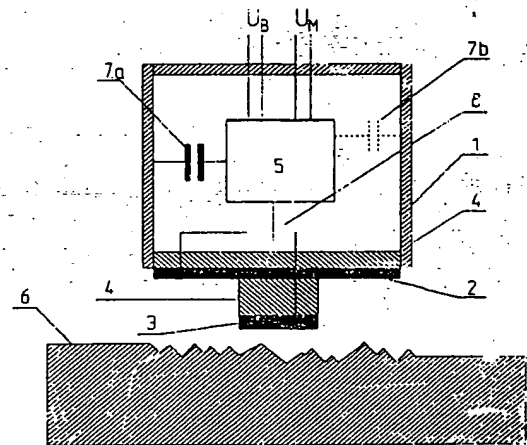


Fig.1

**Patentansprüche:**

1. Kapazitiver Sensor zur berührungslosen Rauheitsmessung mit zwei Elektroden unter Verwendung des Prüflings als Gegenelektrode, einen Referenzkondensator und einer Sensorelektronik, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Gehäuse (1) eine isolierte Positionselektrode (2), die mit der gegenüberliegenden Prüflingsoberfläche (6) als Gegenelektrode einen Positionskondensator bildet, eine isolierte Meßelektrode (3), die sich in einem konstanten Abstand (a) von der Positionselektrode (2) befindet und mit der gegenüberliegenden Prüflingsoberfläche (6) als Gegenelektrode einen Meßkondensator bildet, eine Sensorelektronik (5), die sich unmittelbar hinter der Positionselektrode (2) befindet, und ein Referenzkondensator (7) angeordnet sind.
2. Kapazitiver Sensor zur berührungslosen Rauheitsmessung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionselektrode (2) einen größeren Flächeninhalt als die Meßelektrode (3) besitzt.
3. Kapazitiver Sensor zur berührungslosen Rauheitsmessung nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionselektrode (2) gleichen Flächeninhalt wie die Meßelektrode (3) besitzt.
4. Kapazitiver Sensor zur berührungslosen Rauheitsmessung nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß Positions- und Meßkapazität über eine integrierte Umschalteneinrichtung (8) mit einer gemeinsamen Sensorelektronik (5) und einem gemeinsamen Referenzkondensator (7a) ausgewertet werden.
5. Kapazitiver Sensor zur berührungslosen Rauheitsmessung nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß Positions- und Meßkapazität über zwei verschiedene Referenzkondensatoren 7a und 7b ausgewertet werden.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

**Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft einen kapazitiven Sensor zur berührungslosen flächenbezogenen Rauheitsmessung sowie Messungen von langwelligen Anteilen der Oberflächengestalt. Der Sensor kann vorzugsweise dort Anwendung finden, wo es notwendig ist, die Oberflächenrauheit ohne mechanische Krafteinwirkung auf das Oberflächenprofil zu erfassen. Für Anwendungsgebiete, bei denen aus funktionellen und technologischen Gründen schnell und einfach Größen ermittelt werden sollen, die aussagekräftig über die Gestalt der Oberfläche von Werkstücken sind, ist dieser Sensor besonders geeignet. Dies betrifft vielfältige Bereiche des Maschinen-, Fahrzeug- und Gerätebaus sowie Gebiete anderer Industriezweige, bei denen Messungen der Rauheit technischer Oberflächen erforderlich sind, wie z. B. Elektro-, Elektronik- und Halbleiterindustrie, Kunststoff-, Gummi-, Papier- und Druckindustrie, Entwicklung- und Forschungsbereiche, medizintechnischer Bereich u. v. m.

**Charakteristik des bekannten Standes der Technik**

Bekannt sind kapazitive Sensoren zur Messung der Oberflächenrauheit nach dem Prinzip eines geschichteten Kondensators, dessen zusammengesetztes Dielektrikum einmal besteht aus der das Oberflächenprofil ausfüllenden Luft und zum anderen einem festen Dielektrikum, das mit der Elektrode des Sensors verbunden ist. Zur Messung wird der Sensor auf den Prüfling aufgesetzt. Als Bezugsfläche dient somit die Spitzenfläche. Ein nach diesem Prinzip arbeitendes kapazitives Meßinstrument ist in Annals of the CIRP Vol. 25/1/1977, S. 375-377 beschrieben. Voraussetzung ist immer eine Berührung der Oberfläche, was eine Deformierung des Oberflächenprofils, insbesondere bei weichen Stoffen, hervorruft. Eine berührungslose kapazitive Messung der Oberflächenrauheit, wie sie in „Prüfen und Messen der Oberflächengestalt“ von J. Perthen S. 145-148 beschrieben ist, bedarf grundsätzlich vorher oder nachher einer Berührung der Oberfläche, um den Abstand zur Bezugsfläche bestimmen zu können. Diese bringt Nachteile bei einer prozeßnahen Messung und benötigt zusätzlich noch eine Meßeinrichtung zur Bestimmung des Abstandes. Bekannt sind weiterhin Meßgeräte zur berührungslosen Rauheitsmessung nach dem Streulichtprinzip. Hier ergeben sich Anwendungsgrenzen, bedingt durch das Reflexionsverhalten der zu messenden Oberflächen. Weitere bekannte berührungslose Meßverfahren für die Oberflächenrauheit, wie z. B. in der Zeitschrift Metall 41. Jg., H. 3 1987, S. 274-276, arbeiten nach dem Tastschnittverfahren und erlauben eine flächenhafte Erfassung des Oberflächenprofils nur mit erhöhtem technischen und zeitlichen Aufwand.

**Ziel der Erfindung**

Ziel der Erfindung ist es, einen Sensor zu schaffen, mit dem es möglich ist, Rauheiten und langwellige Anteile der Oberflächengestalt berührungslos, flächenhaft, schnell und einfach zu messen, und der mit geringem mechanischen und elektronischen Aufwand an unterschiedliche Meßbereiche angepaßt werden kann, hohe meßtechnische Anforderungen erfüllt und dabei zuverlässig arbeitet.

# Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen kapazitiven Sensor zu schaffen, mit welchem Oberflächenrauheiten berührungslos, ohne eine vorherige oder nachfolgende mechanische Antastung der zu prüfenden Oberfläche, flächenhaft gemessen werden können und der es ermöglicht, auch langwellige Anteile der Oberflächengestalt zu erfassen. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß unter Verwendung von zwei Elektroden mit dem Prüfling als Gegenelektrode, einem Referenzkondensator und einer Sensorelektronik dadurch gelöst, daß in einem Gehäuse eine isolierte Positionselektrode angeordnet ist, die mit der gegenüberliegenden Prüflingsoberfläche als Gegenelektrode einen Positionskondensator bildet. In einem konstanten Abstand vor der Positionselektrode befindet sich die Meßelektrode, die mit der gegenüberliegenden Prüflingsoberfläche einen Meßkondensator bildet. Weiterhin sind in dem Gehäuse die Sensorelektronik und der Referenzkondensator unmittelbar hinter der Positionselektrode angeordnet.

Die Meßelektrode kann somit in Größenordnungen der zu erwartenden Rauhtiefe von der Spitzenlinie bzw. Spitzenfläche entfernt positioniert werden (ca. 100...200 µm). Dies geschieht, indem der Sensor an die Prüflingsoberfläche herangefahren wird, bis die Kapazität des Positionskondensators, der von Positionselektrode und Prüflingsoberfläche gebildet wird, einen der Sollposition der Meßelektrode entsprechenden Wert erreicht hat. Die Positionselektrode, die sich in einem Abstand von der Spitzenlinie bzw. Spitzenfläche befindet, die ein Vielfaches der zu erwartenden Rauhtiefe beträgt (ca. 1...2 mm), bildet einen Kondensator mit einer idealen Gegenfläche als Bezugsfläche, die mit der mittleren Linie bzw. mittleren Fläche des Oberflächenprofils identisch ist. Bei der geforderten relativ großen Entfernung der Positionselektrode von der Oberfläche ändert die Bezugsfläche ihre Lage bei Änderung des Abstandes des Sensors nicht. Es erfolgt also stets eine Positionierung des Sensors, bezogen auf die mittlere Linie bzw. mittlere Fläche.

Die Meßelektrode, die in einen relativ geringen Abstand von der Oberfläche positioniert ist, bildet einen Meßkondensator mit einer idealen virtuellen Gegenfläche, deren Lage sich von der Lage der mittleren Linie bzw. mittleren Fläche des Oberflächenprofils unterscheidet. Diese Differenz zwischen virtueller Gegenfläche und mittlerer Fläche ist abhängig von der Rauheit der Oberfläche. Die ermittelte Meßkapazität unterscheidet sich somit von der theoretischen Meßkapazität, bezogen auf die mittlere Fläche, die auf Grund des bekannten Abstandes der Meßelektrode von der mittleren Fläche berechenbar ist. Der Abstand der Meßelektrode von der mittleren Fläche ergibt sich aus der Positionierung des Sensors, bezogen auf die mittlere Fläche mit Hilfe der Positionselektrode, und aus dem Abstand zwischen Positions- und Meßelektrode als Sensorkonstante. Die Differenz aus ermittelter und theoretischer Meßkapazität stellt somit eine die Oberflächenrauheit repräsentierende Größe dar. Ein weiteres Merkmal der Erfindung besteht darin, daß die Positionselektrode einen größeren Flächeninhalt besitzt als die Meßelektrode und damit für einen entsprechenden Grundabstand die Kapazitätsunterschiede, die sich aus dem unterschiedlichen Abstand von Positions- und Meßelektrode von der Prüflingsoberfläche ergeben, kompensiert werden. Damit ist es möglich, sowohl die Positions- als auch die Meßkapazität mit Hilfe einer integrierten Umschalteneinrichtung über eine Differential-Sensorelektronik mit einem gemeinsamen Referenzkondensator auszuwerten. Eine Auswertung über zwei unterschiedliche Referenzkondensatoren erfolgt, wenn Meß- und Positionselektrode gleichen Flächeninhalt besitzen bzw. die Positionselektrode nicht um den für die Kompensierung der Kapazitätsdifferenz notwendigen Anteil größer ist als die Meßelektrode. Die Positionselektrode wird vorzugsweise als Ringelektrode um die Meßelektrode herum, um den entsprechenden Abstand versetzt, ausgebildet.

Durch die Gestaltung kleinflächiger Elektroden ist es möglich, den Einfluß langwelliger Anteile vernachlässigbar gering zu halten. Mit entsprechend größeren Elektrodenflächen und -abständen von der Prüflingsoberfläche können ausschließlich langwellige Anteile der Oberflächengestalt gemessen werden.

Der Sensor wird vorzugsweise konstruktiv so ausgebildet, daß der Abstand zwischen Positions- und Meßelektrode sowie der Referenzkondensator definiert einstellbar sind. Damit wird es möglich, den Sensor an unterschiedliche Meßbereiche mit verschiedenen Empfindlichkeiten anzupassen.

## Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel und zugehörigen Zeichnungen näher erläutert werden. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1: Prinzipdarstellung des kapazitiven Sensors zur berührungslosen Rauheitsmessung mit konstanten Parametern

Fig. 2: Darstellung der meßtechnischen Theorie

Fig. 3: Prinzipdarstellung des kapazitiven Sensors zur berührungslosen Rauheitsmessung mit definiert einstellbaren Parametern.

In Figur 1 ist ein kapazitiver Sensor zur berührungslosen Rauheitsmessung dargestellt, bei dem in einem Gehäuse 1 eine isolierte Positionselektrode 2 angeordnet ist. Diese bildet mit der gegenüberliegenden Prüflingsoberfläche 6 einen Positionskondensator. In einem konstanten Abstand  $a$  (ca. 1...2 mm) vor der Positionselektrode 2 befindet sich, verbunden über einen Isolator 4, die Meßelektrode 3, die mit der gegenüberliegenden Prüflingsoberfläche 6 einen Meßkondensator bildet. Unmittelbar hinter der Positionselektrode 2 sind die Sensorelektronik 5, die mit der Betriebsspannung  $U_B$  gespeist wird, und der Referenzkondensator 7 angeordnet. Die Kapazität des Referenzkondensators 7  $a$  sowie der Abstand  $a$  zwischen Positionselektrode 2 und Meßelektrode 3 besitzen einen festen unveränderlichen Wert, so daß diese Variante des Sensors nur für einen konkreten Positionsgrundabstand genutzt werden kann. Um die Kapazität des Positionskondensators an die Kapazität des Meßkondensators, bezogen auf eine ideal ebene Gegenfläche, anzugleichen, besitzt die Positionselektrode 2 einen entsprechend größeren Flächeninhalt als die Meßelektrode 3. Dadurch ist es möglich, eine Schaltungsanordnung mit integrierter Umschalteneinrichtung 8 und einem gemeinsamen Referenzkondensator 7  $a$  zu wählen. Zur Messung der Oberflächenrauheit wird der Sensor mittels der integrierten Umschalteneinrichtung 8 auf Auswertung der Positionskapazität geschaltet.

Der Sensor wird nun soweit an die zu prüfende Oberfläche 6 herangefahren, bis die Kapazität des Positionskondensators den dimensionierten Wert des Referenzkondensators 7a erreicht hat (Figur 2). Die Positionselektrode 2 befindet sich jetzt in einem gewünschten Abstand SO 2 von der mittleren Linie bzw. mittleren Fläche m des Oberflächenprofils 6. Mit der Sensorkonstante a, dem Abstand zwischen Positionselektrode 2 und Meßelektrode 3, ist somit auch der Abstand SO 1 der Meßelektrode 3 von der mittleren Linie bzw. mittleren Fläche m des Oberflächenprofils 6 gegeben. Nun wird mittels der integrierten Umschalteneinrichtung 8 der Sensor auf Auswertung der Meßkapazität geschaltet. Im Falle einer ideal glatten Gegenfläche anstelle der mittleren Fläche m besäße die Meßkapazität die gleiche Größe wie die Referenz- oder auch die Positionskapazität. Da sich aber die Meßelektrode 3 sehr nahe am Prüfling befindet, wird nicht mit der mittleren Fläche m, sondern mit einer virtuellen Fläche m', die von dieser in der Lage abweicht, die Meßkapazität gebildet. Die Differenz zwischen theoretischer (entsprechend Referenzkapazität) und gemessener Kapazität ergibt einen Abstandswert zwischen mittlerer Fläche m und virtueller Meßfläche m'  $\Delta S = SO 1 - SO' 1$ . Diese Differenz stellt eine die Oberflächenrauheit repräsentierende Größe dar und wird als Meßspannung  $U_M$  am Ausgang des Sensors zur weiteren Verarbeitung bereitgestellt.

Um den Rauheitssensor für unterschiedliche Grundabstände und damit mit verschiedenen Empfindlichkeiten nutzen zu können, wird vorzugsweise die Meßelektrode 3 so ausgebildet, daß sie in ihrem Abstand a zur Positionselektrode 2 einstellbar ist. Figur 3 zeigt eine Variante in dieser Ausführung. Über eine Feinverstellung 9 kann der Abstand a der Meßelektrode 3 von der Positionselektrode 2 definiert verändert werden. Damit wird erreicht, daß bei Positionierung des Sensors in verschiedenen Grundabständen zum Prüfling, entsprechend den Einsatzbedingungen, unter Beibehaltung der konstanten Flächendifferenz zwischen Meßelektrode 3 und Positionselektrode 2 der Sensor so eingestellt werden kann, daß Meßkondensator und Positionskondensator die gleiche Kapazität besitzen. Voraussetzung hierfür ist eine entsprechende Nachregulierung des Referenzkondensators 7a, der einstellbar ausgebildet sein muß. Der Referenzkondensator 7a kann unabhängig einstellbar vorgesehen oder mit der Einstellung der Meßelektrode 3 direkt gekoppelt werden.

Bei einer voneinander unabhängigen gleichzeitigen Auswertung der Meß- und Positionskapazität über zwei verschiedene Referenzkondensatoren 7a, 7b besteht die Möglichkeit, den Sensor als ein Handgerät auszubilden, in der Weise, daß beim Heranfahren des Sensors von Hand die Positionskapazität von einem Mikrorechner verglichen wird mit einem vorprogrammierten Einstellwert. Beim Erreichen dieses Wertes wird die Meßkapazität vom Rechner übernommen und angezeigt. Damit ist die Möglichkeit geschaffen, von Hand berührungslos die Rauheit flächenhaft sehr schnell zu messen.

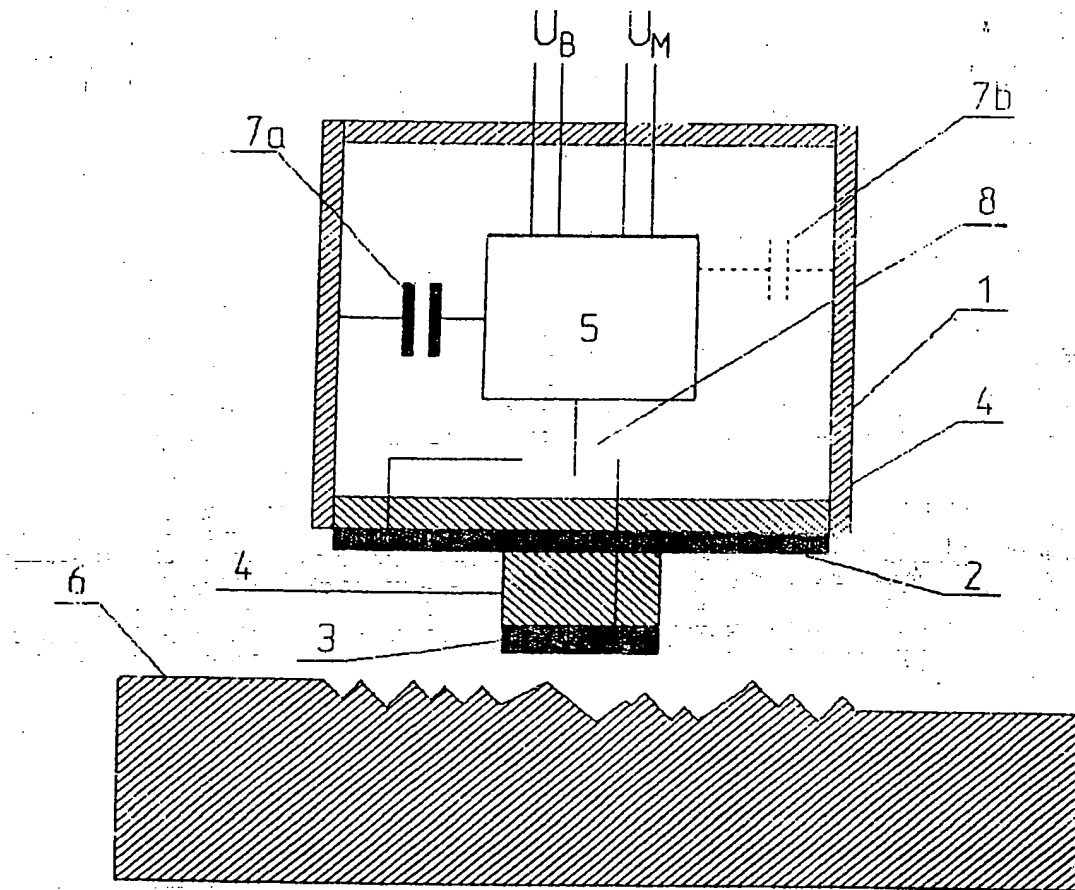


Fig.1

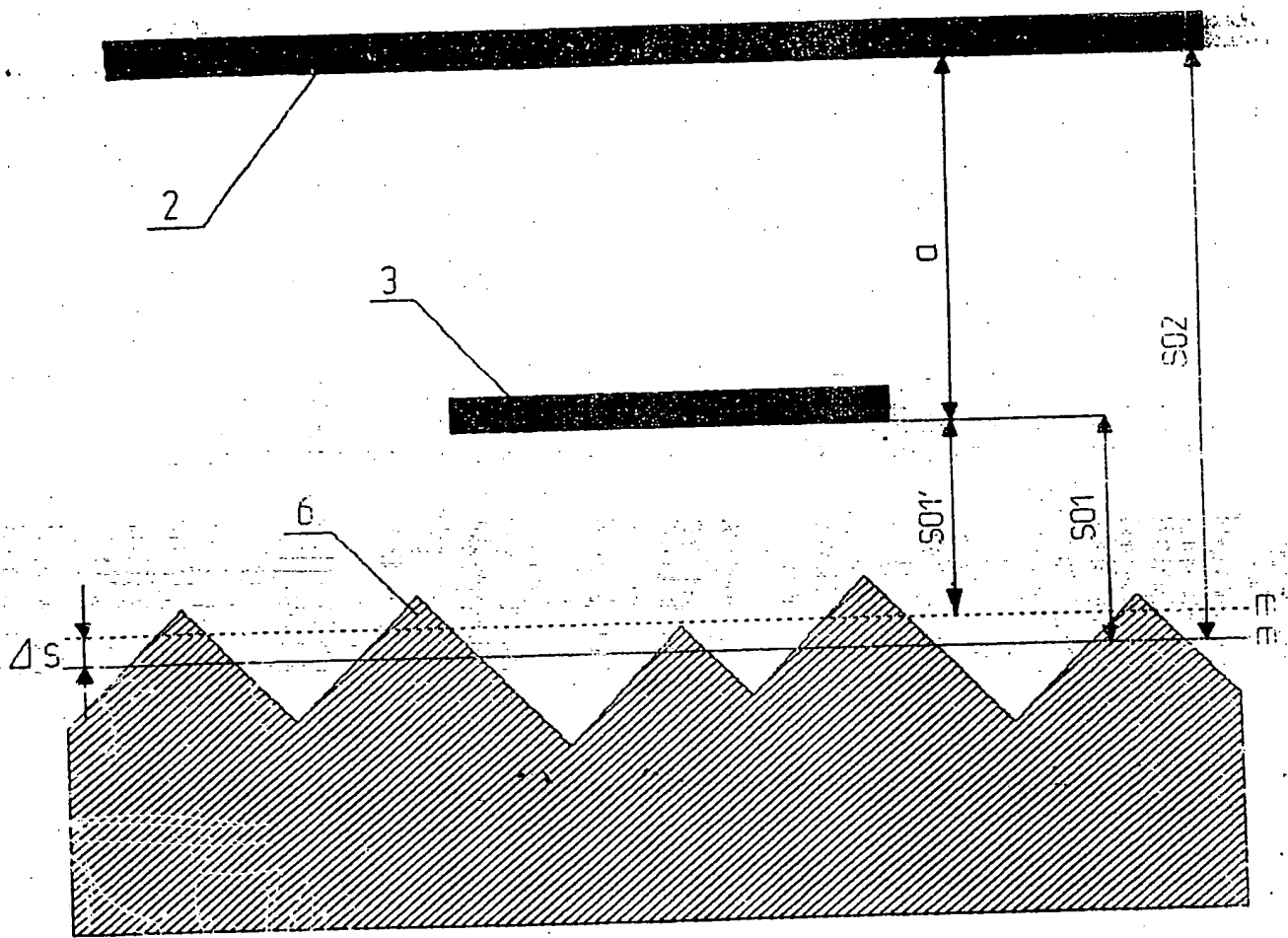


Fig.2

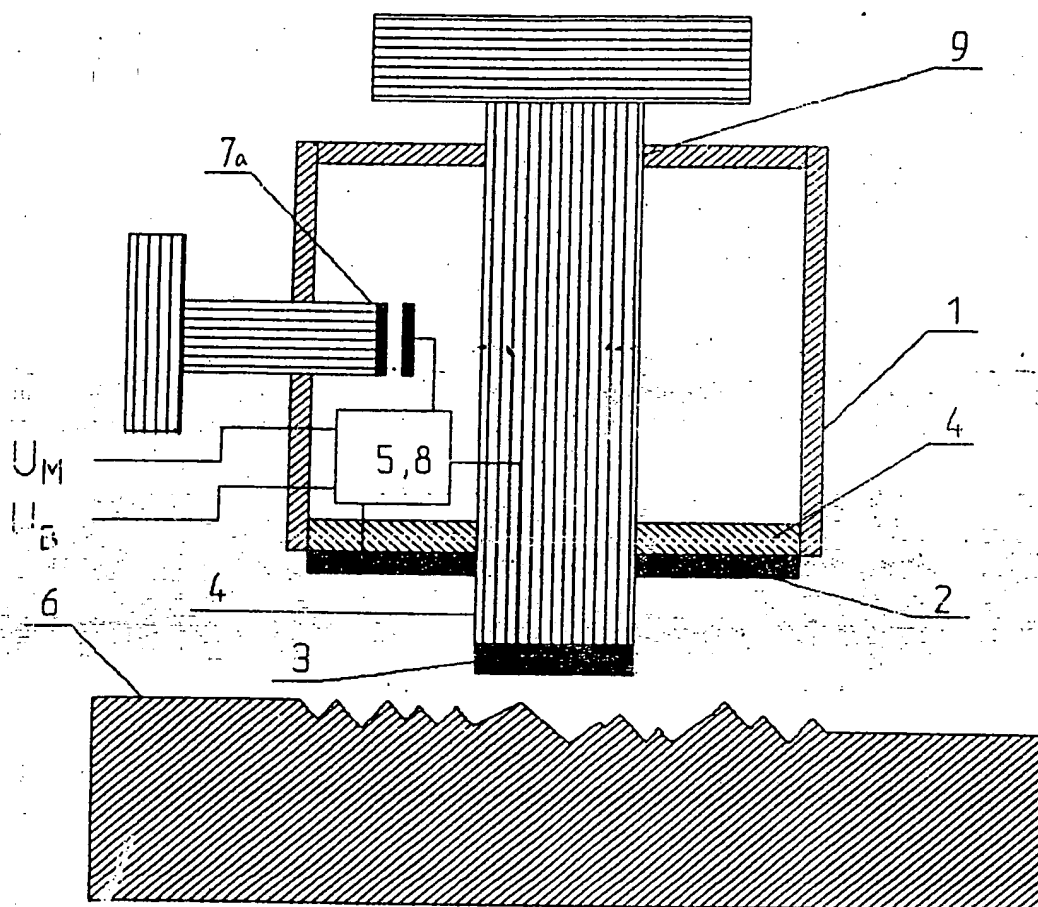


Fig.3



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**